

PAT-NO: JP401134300A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 01134300 A

TITLE: X-RAY MICROSCOPE

PUBN-DATE: May 26, 1989

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

AOKI, SADAO

TAKIGAWA, TADAHIRO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

TOSHIBA CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP62292753

APPL-DATE: November 19, 1987

INT-CL (IPC): G21K007/00, G01T001/28

US-CL-CURRENT: 378/43

ABSTRACT:

PURPOSE: To lessen the degradation of resolution and attenuation by once enlarging an X-ray image, then subjecting the same to image conversion.

CONSTITUTION: An X-ray is projected onto a sample surface via a 1st X-ray optical element 12 such as X-ray condenser lens and the X-ray image obtd. therefrom is macro-imaged on an X-ray conversion part in a vacuum vessel by the 2nd X-ray optical element 15 such as X-ray objective lens. The electron beams corresponding to the X-ray image is released by a photoelectric surface 18c of the X-ray conversion part 18. The electron beam is accelerated by a uniform

magnetic field to form electron beam image  $Q_{1</SB>}$  near an anode.

The

~~electron beam image  $Q_{1</SB>}$  is macro-imaged by an electron lens~~

20 to form

an electron beam image  $Q_{2</SB>}$ . The electron beam image

corresponding to

the observation image of a sample is detected by a microchannel plate

22. The

attenuation of the X-ray is thereby decreased and the degradation of

the

resolution by the influence of an aberration is lessened.

COPYRIGHT: (C)1989,JPO&Japio

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-134300

⑤ Int.Cl.<sup>4</sup>  
 G 21 K 7/00  
 // G 01 T 1/28

識別記号 庁内整理番号  
 8805-2G  
 8406-2G

④ 公開 平成1年(1989)5月26日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全5頁)

④ 発明の名称 X線顕微鏡

⑪ 特 願 昭62-292753

⑫ 出 願 昭62(1987)11月19日

⑬ 発 明 者 青 木 貞 雄 茨城県新治郡桜村竹園2-808-306

⑭ 発 明 者 滝 川 忠 宏 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合  
研究所内

⑮ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

⑯ 代 理 人 弁理士 鈴江 武彦 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

X線顕微鏡

## 2. 特許請求の範囲

- (1) X線を放射するX線源と、このX線源から放射されたX線を試料面上に照射する第1のX線光学素子と、X線の照射により前記試料から得られるX線を拡大結像する第2のX線光学素子と、X線の照射により電子を発生するX線-電子変換面又はX線の照射により光を発生するX線-光変換面を有し、前記第2のX線光学素子によるX線結像面に配置されたX線変換部と、このX線変換部で発生した電子又は光の像を拡大結像する手段と、拡大結像された電子又は光の像を検出する手段とを具備してなることを特徴とするX線顕微鏡。
- (2) 前記試料から得られるX線は、X線照射により試料を透過した透過X線、試料で反射した反射X線、又は試料から放射された2次X線であることを特長とする特許請求の範囲第1項記載のX線顕微鏡。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔発明の目的〕

(産業上の利用分野)

本発明は、X線顕微鏡に係わり、特にX線像を電子や光の像に変換して検出するX線顕微鏡に関する。

(従来技術)

近年、試料にX線を照射し試料から得られるX線像を検出することにより試料の観察を行うX線顕微鏡が研究開発されている。このX線顕微鏡は、

① 光源としてのX線源の波長が光学顕微鏡よりも通かに短いので、原理的に光学顕微鏡より解像度が高い。

② X線は各種試料に対して透過性が大きいので、電子顕微鏡よりも厚い試料の観察或いは大気中や水溶液中での観察が可能である。

③ 照射損傷が電子顕微鏡よりも少ない。

等の特長を有しており、生物、半導体分野等からその実現が強く要望されている。しかし、X線顕

域では物質の屈折率が1に極めて近く、可視領域で得られるような実用的な屈折光学系や反射光学系が従来得られず、X線顕微鏡の開発は進まなかった。

ところで、理論的には、ウォルター型の斜め入射型X線反射鏡、多層膜を利用した直入射型X線反射鏡或いはゾンプレート等を用いることにより、50Å程度の高い解像度を得ることが可能である。そして最近では、超高精度機械加工技術、超平滑化処理技術、多層膜形成技術及び超微細加工技術等の発展が著しく、実用可能なX線光学素子が作られ始めている（青木貞雄；“X線光学素子とその利用技術”，応用物理学会，58，（1987），P342～350）。

第3図に、西独のSchmal等が開発したX線顕微鏡を例として示す。左から広い波長を持ったX線放射光を入射させ、比較的径の大きいコンデンサ・ゾンプレートで集光分光し、集光面上に試料を置いて、対物ゾンプレートで拡大像を得ている。波長4.5nmの軟X線で、分解能50nmを得てい

る。像の検出は、マイクロチャネルプレートを用いて行っている。マイクロチャネルプレートは、微小なチャネルトロンを蜂の巣状に束ねたもので、1つのチャネルトロンの寸法が検出器の解像度となる。チャネルトロンの寸法は約20μmであるので、50nmの解像度の像を観察するためには、像を少なくとも400倍程度まで拡大すればよい。

しかしながら、この種の装置にあっては次のような問題があった。即ち、像の検出器の解像度はCCDを用いれば10μm程度まで改善できる。その場合でも、50nmの解像度を得るためには、200倍程度の像の拡大が必要となる。1段のレンズで像を数100倍と大きく拡大すると、収差が大きくなり解像力が低下し、その結果歪みが大きくなる。さらに、数100倍の拡大を1段のレンズで行うためには、レンズを大型化せざるを得ず、装置構成の大型化を招く等の問題を生じる。また、レンズ段数を増加すると、これらの問題はなくなるが、X線の減衰が大きくなり望ましくない。

（発明が解決しようとする問題点）

このように従来、1段のレンズでX線像を大きく拡大すると収差が大きくなり解像度が低下する問題があり、またレンズ段数を増加するとX線の減衰が大きくなる等の問題があった。

本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、解像度の低下及びX線の減衰を最小限に抑えることができ、良好なX線像検出を行い得るX線顕微鏡を提供することにある。

#### 〔発明の構成〕

（問題点を解決するための手段）

本発明の骨子は、X線像を電子線像若しくは光の像に変換し、この電子線像若しくは光の像をレンズにより拡大することにある。

即ち本発明は、試料にX線を照射し該試料からのX線像を検出することにより試料の観察を行うX線顕微鏡において、X線を放射するX線源と、このX線源から放射されたX線を試料面上に照射する第1のX線光学素子と、X線の照射により試料から得られるX線を拡大結像する第2のX線光

学素子と、X線の照射により電子を発生するX線-電子変換面またはX線の照射により光を発生するX線-光変換面を有し、前記第2のX線光学素子によるX線結像面に配置されたX線変換部と、このX線変換部で発生した電子又は光の像を拡大結像する手段と、拡大結像された電子又は光の像を検出する手段とを設けるようにしたものである。

（作用）

本発明によれば、第2のX線光学素子でX線像を拡大したのちに、電子又は光の光学素子により電子又は光の像を拡大することになる。このとき、1段のレンズでX線像を数100倍程度に拡大するのではなく、複数段のレンズにより必要な拡大を行っているので、収差が大きくなり解像度が低下するのを最小限に抑えることができる。また、第2のX線光学素子でX線像を拡大したのちは、減衰の少ない電子又は光の光学素子で電子又は光の像を拡大しているため、全体としての像情報の減衰を極めて少なくすることができる。従って、X線の減衰、収差を少なくして解像度の高い検出

が可能となる。

(実施例)

以下、本発明の詳細を図示の実施例によって説明する。

第1図は本発明の一実施例に係わるX線顕微鏡を示す概略構成図である。図中11はX線を放射するX線源であり、このX線源11から放射されたX線はX線コンデンサレンズ(第1のX線光学素子)12を介して被検査試料13上に照射される。試料13は移動可能な試料台14上に設置されており、試料台14は試料設置領域が極めて薄く形成、或いは試料設置領域に開口が形成されている。そして、試料13を通過したX線は、X線対物レンズ(第2のX線光学素子)15により、X線導入窓16を介して真空容器17内に導かれ、所定の位置に拡大結像されるものとなっている。

真空容器17内には、X線像を電子線像に変換するためのX線変換部18、X線変換部18に対向するアノード19、電子レンズ20、21及びマイクロチャネルプレート22が収容されている。

20により拡大結像されて電子線像 $Q_2$ を形成し、さらに電子レンズ21によりマイクロチャネルプレート22上に拡大結像されて電子線像 $Q_3$ を形成する。そして、このマイクロチャネルプレート22により、試料の観察像に相当する電子線像が検出されるものとなっている。

このような構成においては、収差の影響を考えると、各種レンズの倍率は1段当り10倍以下が望ましい。ここでは、レンズ15の倍率を10倍、レンズ20の倍率を10倍、レンズ21の倍率を5倍とした。この場合、試料13上で50nmの距離は光電面18c上で $0.5\mu m$ に対応する。光電面の解像度は $0.5\mu m$ 以下なので、X線-電子線変換で解像度が低下することはない。また、光電面18c上で $0.5\mu m$ の距離はマイクロチャネルプレート22上では $25\mu m$ に対応する。従って、マイクロチャネルプレート22が $25\mu m$ の解像度を有していれば、X線顕微鏡として50nmの解像度が得られることになる。また、マイクロチャネルプレート22が $50\mu m$ の解像度だとしても、X線顕

微鏡として $0.1\mu m$ の解像度が得られることになる。なお、光電面18cの厚さは薄い程解像度は高くなるが、X線発生効率は下がるので最適値があり、 $0.1\sim 10\mu m$ 程度が望ましい。

前記X線対物レンズ15により拡大されたX線像は、X線変換部18上に結像される。このX線変換部18は、枠体18aで支持された薄膜18bの下面に、X線照射により電子を発生する光電面18cを取着して設けられている。枠体18aはX線マスクのSi枠を用いればよく、薄膜18bはX線マスクで良く用いられる $1\mu m$ 厚のSiN或いはBNを用いることができる。光電面18cとしては、CsI, Au, W, Ta等、X線の照射による光電子放出効率の高い材料が望ましい。なお、光電面18cには直流電源23により負の高電位が与えられている。そして、この光電面18c上に前記X線の拡大像が形成され、この像に応じて光電面18cから電子ビームが放出される。

X線変換部18の光電面18cから放出された電子ビームは、光電面18cとアノード19との空間の高電界と容器17外に設置されたコイル24によって発生する一様磁界とにより加速され、これによりアノード19の近傍に電子線像 $Q_1$ が形成される。この電子線像 $Q_1$ は、電子レンズ

20により拡大結像されて電子線像 $Q_2$ を形成し、さらに電子レンズ21によりマイクロチャネルプレート22上に拡大結像されて電子線像 $Q_3$ を形成する。そして、このマイクロチャネルプレート22により、試料の観察像に相当する電子線像が検出されるものとなっている。

かくして本実施例によれば、X線像を十分に拡大して試料の状態を観察できるのは勿論のこと、次のような効果が得られる。即ち、X線像を拡大するのはX線対物レンズ15の1段のみであるのでX線の減衰は極めて少ない。さらに、このレンズ15による拡大倍率は10倍程度であるので、収差が大きくなり解像度が低下することは殆どない。また、X線像を電子線像に変換した後は、電子レンズ20、21により電子線像を拡大するが、このとき電子レンズ20、21による電子の減衰はなく、さらにそれぞれのレンズの拡大倍率も10倍以下と小さいので収差の影響も殆どない。従って、収差の影響による解像度の低下を極力少なくし、且つ像情報の減衰を少なくすることができ、サブミクロンの解像度を十分に達成することができる。また、X線像を数100倍に拡大する大型のX線レ

レンズを要することなく、全体構成の小型化をはかることも可能である。

第2図は本発明の他の実施例を示す概略構成図である。なお、第1図と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

この実施例が先に説明した実施例と異なる点は、試料を透過した透過X線を用いるのではなく、試料で反射した反射X線を用いたことにある。即ち、被検査試料13は試料台26の下面に取付けられており、X線源11からのX線はX線コンデンサレンズ12を介して試料13に斜め方向から照射される。そして、X線照射により試料13から得られる反射X線の像が、X線対物レンズ15により先の実施例と同様に拡大結像されるものとなっている。

このような構成であっても、先の実施例と同様の効果が得られるのは勿論であり、特に反射X線を用いることから比較的厚い試料の観察も可能となる。また、対物レンズ15と試料13との相対距離 $z$ を微調整することにより、試料内部の像を

光電面18cに形成することができ、さらに試料を傾けることにより、立体構造の斜面を観察することもできる。

なお、本発明は上述した各実施例に限定されるものではない。例えば、前記X線変換部として、X線-電子変換面の代りに、X線の照射により光を放出するX線-光変換面を用いることができる。この場合、X線変換部以降のレンズを光学レンズとすればよく、光学的に拡大される最初の像がX線光学素子により既に10倍程度拡大されているので、通常の光学顕微鏡の10倍程度の解像度が得られる。X線-光変換面としては、例えばCsI, Au, W等を用いることができる。また、試料の像情報を持つX線として、X線照射により試料から発生される2次X線を用いることも可能である。さらに、電子線像や光の像等を検出する手段としては、マイクロチャネルプレートに限らず、CCD等の撮像素子を用いることも可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

#### 【発明の効果】

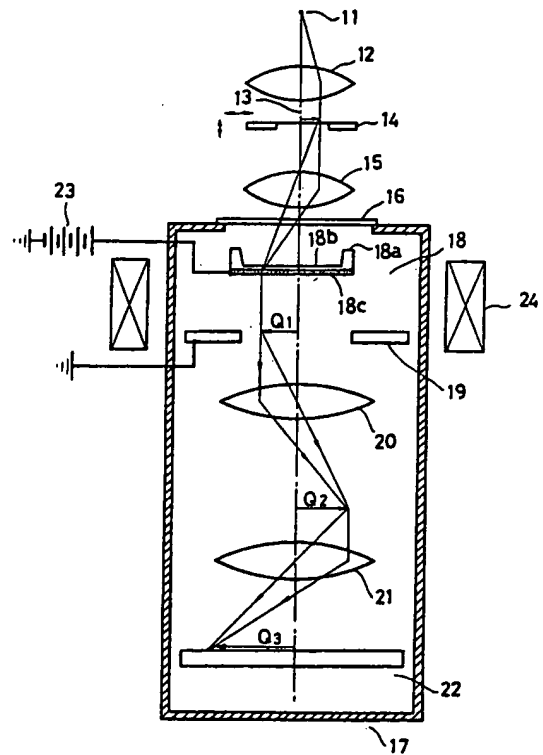
以上詳述したように本発明によれば、X線像を一旦拡大したのち電子又は光の像に変換し、この変換した像を十分に拡大して検出しているので、解像度の低下及び減衰を小さくすることができ、良好な試料観察を行うことができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

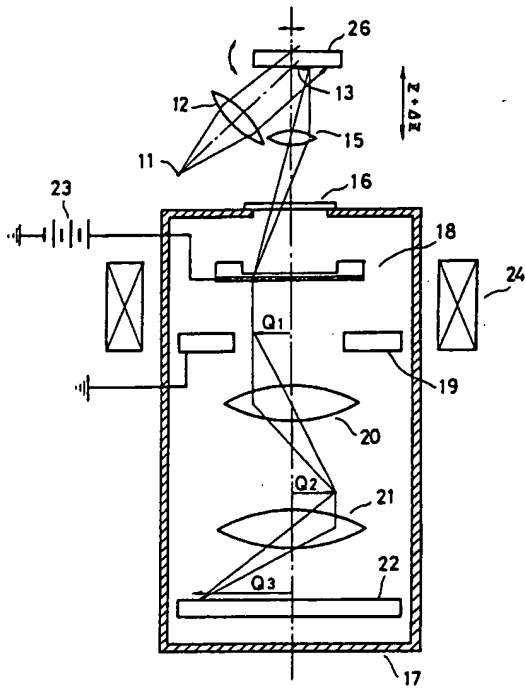
第1図は本発明の一実施例に係わるX線顕微鏡を示す概略構成図、第2図は他の実施例を示す概略構成図、第3図は従来装置を示す概略構成図である。

11…X線源、12…X線コンデンサレンズ（第1のX線光学素子）、13…試料、14、26…試料台、15…X線対物レンズ（第2のX線光学素子）、16…X線導入窓、17…真空容器、18…X線変換部、18c…光電面（X線-電子変換面）、19…アノード、20、21…電子レンズ、22…マイクロチャネルプレート、23…直流電源、24…コイル。

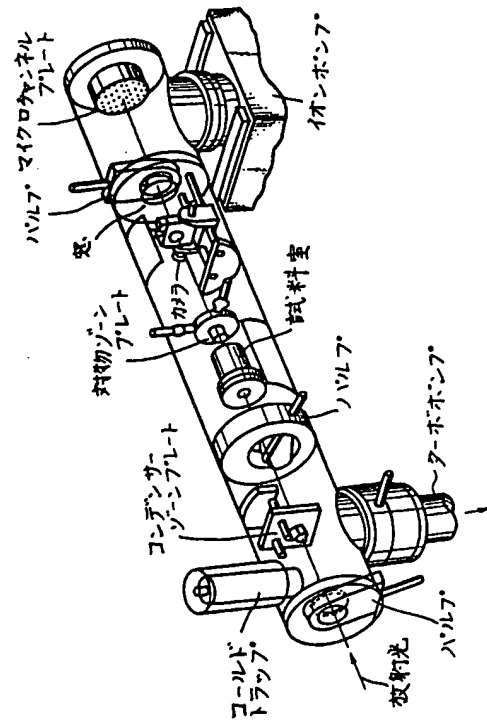
出願人代理人 弁理士 鈴江武彦



第1図



第 2 図



第 3 図